

welche die Maxima-Werthe in gewissem Grade proportional den Ordinaten der getüpfelten Linie giebt. Die absoluten Werthe der Ordinaten in der schwachen und der getüpfelten Linie sind nicht nothwendig als auf dieselbe Einheit mit denen in der starken Linie bezogen anzusehen; allein die Abscissen entsprechen einander genau in allem.

(Einen Anhang, worin der Verfasser die numerische

Berechnung des Integrals $\int_{\omega=\infty}^{\omega=0} \cos \frac{1}{2} \pi (\omega^3 - m \omega)$ entwik-

kelt, glauben wir hier, da er rein mathematisch ist, wenigstens einstweilen fortlassen zu dürfen (P.).)

III. *Vierzehnte Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektrizität; von Michael Faraday.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verfasser aus den *Philos. Transact. f. 1838, pt. II.*)

§. 20. Natur der elektrischen Kraft oder Kräfte.

1667. Die in den drei vorhergehenden Reiben von Experimental-Untersuchungen (Ann. Bd. 46, 47 und 48) aufgestellte und erläuterte Vertheilungstheorie lehrt in Bezug auf die Natur der elektrischen Kraft oder Kräfte nichts Neues, sondern bloß in Bezug auf deren Vertheilung (*Distribution*). Die Wirkungen können abhängen entweder von einer Verknüpfung Einer elektrischen Flüssigkeit mit den Theilchen der Körper, wie nach der Theorie von Franklin, Aepinus, Cavendish und Mosotti; oder von der Verknüpfung zweier elektrischen Flüssigkeiten, wie nach der Theorie von Dufay und Poisson; oder auch von keinem Ding, was eigentlich

elektrisches Fluidum genannt werden kann, sondern von Schwingungen oder anderen Abänderungen (*affections*) der Materie, in welcher sie erscheinen. Dergleichen Verschiedenheiten in der Ansicht über die Natur der Kräfte haben keinen Einfluß auf die Theorie, und wiewohl diese sich die wichtige Aufgabe gestellt, anzugeben, *wie* die Kräfte geordnet seyen (wenigstens bei den Vertheilungs-Erscheinungen), so liefert sie doch, so weit ich bis jetzt sehen kann, nicht einen einzigen Versuch, welcher als ein entscheidender Beweis der Wahrheit dieser verschiedenen Ansichten betrachtet werden könnte.

1668. Allein die Ermittlung, wie die Kräfte geordnet seyen, die Verfolgung derselben in ihre verschiedene Beziehungen zu den Körpertheilchen, die Bestimmung ihrer allgemeinen Gesetze und der specifischen Unterschiede, welche bei diesen Gesetzen vorkommen, ist eben so wichtig, wenn nicht wichtiger als die Kenntniß, ob die Kräfte in einer Flüssigkeit beruhen oder nicht; und in der Hoffnung, diese Untersuchung zu unterstützen, will ich einige fernere theoretische und experimentelle Entwicklungen geben von den Umständen, unter welchen, ich annehme, die Körpertheilchen befindlich sind, wenn sie Vertheilungserscheinungen zeigen.

1669. Die Theorie nimmt an, daß alle *Theilchen* sowohl von isolirenden als leitenden Substanzen, als Ganze, Leiter sind.

1670. Daß sie in ihrem Normalzustand nicht polar sind, es aber durch den Einfluß benachbarter geladener Theilchen werden können, und der Polarzustand in einem Augenblick entwickelt werden kann, genau wie in einer isolirten leitenden *Masse* von vielen Theilchen.

1671. Daß die Theilchen, polarisirt, in einem Zwangszustand befindlich sind, und in ihren normalen oder natürlichen Zustand zurückzukehren suchen.

1672. Daß sie, da sie, als Ganze, Leiter sind, leicht

geladen werden können, entweder massenhaft oder polar (*bodily or polarly*).

1673. Dafs Theilchen, welche in der Linie der Vertheilungswirkung an einander liegen, ihre Polarkräfte *mehr oder weniger leicht* einander mittheilen oder auf einander übertragen können.

1674. Dafs in denen, die dieses weniger leicht thun, die Polarkräfte auf einen höheren Grad steigen, bevor diese Uebertragung oder Mittheilung stattfindet.

1675. Dafs die leichte Mittheilung der Kräfte zwischen angränzenden Theilchen: *Leitung*, und die schwierige: *Isolation* ausmacht, dafs Leiter und Isolatoren Körper sind, deren Theilchen von Natur die Eigenschaft besitzen, ihre respectiven Kräfte leicht oder schwierig mitzutheilen, und dafs die Körper darin gerade so verschieden sind, als in andern natürlichen Eigenschaften.

1676. Dafs die gewöhnliche Vertheilung das Resultat ist der Einwirkung der mit erregter oder freier Elektrizität geladenen Substanz auf isolirende Substanz, und in dieser den entgegengesetzten Zustand zu gleichem Betrage zu erregen sucht.

1677. Dafs sie (die geladene Substanz (*P.*)) diefs nur vermag durch 'Polarisation der dicht angränzenden Theilchen, welche dasselbe bei den nächsten bewirken, diese wiederum bei den folgenden, und dafs so die Wirkung fortgepflanzt wird von dem erregten Körper zu der nächsten leitenden Masse, und daselbst die entgegengesetzte Kraft sichtbar macht, in Folge des Effects der Mittheilung, welche in der leitenden Masse nach der Polarisation der Theilchen (*of that body*) hinzutritt (1675).

1678. Dafs Vertheilung deshalb nur durch Isolatoren hin stattfinden kann; dafs Vertheilung Isolation ist, und die nothwendige Folge des Zustands der Theilchen und der Art, wie der Einfluss elektrischer Kräfte querdurch solche isolirende Media fortgepflanzt oder durchgelassen wird.

1679. Die Theilchen eines isolirenden Di-elektricum, das unter Vertheilung steht, kann verglichen werden mit einer Reihe kleiner Magnetnadeln, oder, noch richtiger, mit einer Reihe kleiner isolirter Conductoren. Wenn der Raum rings um eine geladene Kugel gefüllt wäre mit einem Gemeng von einem isolirenden Di-elektricum, wie Terpenthinöl oder Luft, und kleinen kugelförmigen Leitern, wie Schrot, in der Weise, daß diese etwas von einander abständen um isolirt zu seyn, so würden diese in ihrem Zustand und ihrer Wirkung genau dem ähneln, was ich glaube der Zustand und die Wirkung der Theilchen des isolirenden Di-elektricum selbst ist. Wäre der Körper geladen, so würden alle diese kleinen Leiter polar; würde man die Kugel entladen, so würden alle in ihren Normalzustand zurückkehren, um bei Wiederladung der Kugel abermals polarisirt zu werden. Der mittelst Vertheilung querdurch solche Theilchen in einer entfernten leitenden Masse erregte Zustand würde von entgegengesetzter Art seyn, und im Betrage genau gleich der Kraft der vertheilenden Kugel. Es würde daselbst eine Seitenverbreitung der Kraft (1224. 1297) stattfinden, weil jedes polarisirte Kügelchen in einer thätigen oder Spannungs-Beziehung zu allen ihm benachbarten stände, gerade so wie ein Magnet auf zwei oder mehrere benachbarte Magnetnadeln wirken kann, und diese wiederum auf eine noch gröfsere Zahl jenseits liegende wirken können. Hieraus würden krumme Linien der Vertheilungskraft entstehen, wenn der vertheilte Körper in solch einem gemischten Di-elektricum eine unisolirte metallische Kugel (1219 etc.) oder andere gehörig geformte Masse wäre. Solche krummen Linien sind die Folgen zweier elektrischen Kräfte, so geordnet wie ich es annehme; und daß die Vertheilungskraft nach solchen krummen Linien gerichtet werden kann, ist der strengste Beweis des Daseyns der beiden Kräfte und des Polarzustands der di-elektrischen Theilchen

1680. Ich glaube, es ist einleuchtend, daß in dem angegebenen Fall die Wirkung in die Ferne nur aus ei-

ner Wirkung der anliegenden leitenden Theilchen hervorgehen kann. Kein Grund ist da, warum der vertheilende Körper *entfernte* Leiter polarisiren oder afficiren, und die *benachbarten*, namentlich die Theilchen des Dielektricums, unafficirt lassen sollte; alle Thatsachen und Versuche mit leitenden Massen oder Theilchen von beträchtlicher Gröfse widersprechen einer solchen Voraussetzung.

1681. Ein auffallender Character der elektrischen Kraft ist der, dafs sie begränzt und ausschliessend (*limited and exclusive*) ist, und dafs die beiden Kräfte immer zu genau gleichem Betrage vorhanden sind. Die Kräfte sind auf zweierlei Weisen verknüpft, entweder wie in dem natürlichen, normalen Zustand eines ungeladenen, isolirten Leiters, oder wie in dem geladenen Zustand; der letztere ist ein Fall von Vertheilung.

1682. Fälle von Vertheilung sind leicht so geordnet, dafs die beiden Kräfte, als begränzt in ihrer Richtung, ausserhalb des angewandten Apparats keine Erscheinungen oder Anzeigen darbieten. Wenn z. B. eine Leidner Flasche, deren äufsere Belegung etwas höher als die innere ist, geladen wird, und man darauf die Ladungskugel und Stange entfernt, so zeigen sich keine elektrischen Erscheinungen, so lange ihre Aussen- und Innenseite unisolirt ist. Die beiden Kräfte, welche so zu sagen in den Belegen oder in den benachbarten Theilchen des Dielektricums enthalten sind, sind vermittelt Vertheilung quer durch das Glas ganz mit einander beschäftigt (*engaged*); und eine Tragekugel (1181) wird, nach Anlegung an die Aussen- oder Innenseite der Flasche, keine Anzeigen von Elektricität geben. Wenn man aber die Flasche isolirt, und Ladungs-Kugel und Stange, im ungeladenen Zustand und hängend an einem isolirten Faden weifser Seide, wieder an ihren Ort bringt, so wird der über die Flasche hervorragende Theil elektrische Anzeigen geben und die Tragekugel laden, und zugleich wird man finden, dafs

der *äußere* Beleg der Flasche im entgegengesetzten Zustande ist und auf umgebende Gegenstände vertheilend wirkt.

1683. Diefs sind einfache Folgen der Theorie. So lange die Ladung des inneren Belegs nur durch das Glas auf den äußeren Beleg vertheilend wirken kann, und dieser letztere nicht mehr von entgegengesetzter Kraft, als was jener äquivalent war, enthält, kann an der Flasche keine Vertheilung nach Außen wahrgenommen werden. So wie aber der innere Beleg durch den Stab und die Kugel so erweitert wird, daß er durch die Luft auf äußere Gegenstände vertheilend wirken kann, sinkt die Spannung der polarisirten Glastheilchen, vermöge ihrer Neigung in den Normalzustand zurückzukehren, ein wenig, und ein Theil der Ladung, der zu der Oberfläche dieses neuen Theils des innern Conductors übergeht, wirkt vertheilend durch die Luft auf ferne Gegenstände, während zugleich ein zuvor nach Innen gerichteter Theil der Kraft in dem äußeren Belege in Freiheit gesetzt wird; und, nun gezwungen durch die Luft hin nach Außen vertheilend zu wirken, in diesem äußeren Beleg dasjenige erzeugt, was man, ich glaube sehr ungeeignet, freie Ladung genannt hat. Eine kleine Leidner Flasche, der man die unter dem Namen des elektrischen Brunnens bekannte Gestalt gegeben, wird diese Wirkung sehr vollständig erläutern.

1684. Die Ausdrücke: *freie Ladung* und *gebundene Elektrizität* (*dissimulated electricity*) führen daher zu irrigen Begriffen, wenn damit irgend ein Unterschied in der Art oder Weise der Wirkung bezeichnet seyn soll. Die Ladung auf einem isolirten Leiter in der Mitte eines Zimmers, steht zu den Wänden dieses Zimmers in derselben Beziehung, wie die Ladung auf dem innern Belege einer Leidner Flasche zu dem äußeren Belege derselben Flasche. Die eine ist nicht *freier* oder *gebundener* als die andere, und wenn wir zuweilen Elektrizität

hervorrufen, wo sie früher nicht nachzuweisen war, wie auf der Außenseite einer geladenen Flasche; wenn wir, nach deren Isolirung, die innere Belegung berühren, so geschieht dies nur, weil wir mehr oder weniger von der Vertheilungskraft aus der einen Richtung in die andere lenken; denn unter solchen Umständen wird in dem Charakter oder der Wirkung der Kraft nicht die geringste Veränderung bewirkt.

1685. Nach dieser allgemeinen theoretischen Ansicht, will ich nun zu besonderen Punkten in Betreff der Natur der angenommenen elektrischen Polarität der Theilchen des isolirenden Di-elektricum übergehen.

1686. Der Polarzustand bei der gewöhnlichen Vertheilung kann betrachtet werden als ein Zwangszustand, aus dem die Theilchen in ihren Normalzustand zurückzukehren suchen. Durch gegenseitige Näherung des vertheilenden und vertheilten Körpers oder durch andere Umstände kann er wahrscheinlich zu einem hohen Grad gesteigert werden, und die Phänomene der Elektrolysirung (851. 1652. 1706) scheinen anzudeuten, daß das Verhältniß der Kraft, die so in einem einzigen Theilchen angehäuft werden kann, ungeheuer ist. In Zukunft mögen wir im Stande seyn, Corpuscularkräfte wie die der Schwere, Cohäsion, Elektrizität und chemischen Verwandtschaft mit einander zu vergleichen und auf diese oder andere Weise ihre relativen Aequivalente aus ihren Effecten abzuleiten; für jetzt vermögen wir es nicht; allein es scheint keinem Zweifel zu unterliegen, daß ihre (der Körpertheilchen?(P.)) elektrischen Kräfte, die zugleich ihre chemischen sind (891. 918) bei weitem die mächtigsten sind.

1687. Die durch die Polarisation entwickelten Kräfte betrachte ich nicht als beschränkt auf zwei besondere als Pole einer Axe anzusehende Punkte oder Stellen der Oberfläche eines jeden Theilchens, sondern als verwei-

lend auf grossen Stücken dieser Oberfläche, wie es der Fall ist auf der Oberfläche eines in den Polarzustand versetzten Leiters von bedeutender Grösse. Allein es ist sehr wahrscheinlich, daß, ungeachtet der specifischen Unterschiede, welche die Theilchen verschiedener Körper in dieser Beziehung darbieten, die obwohl in Menge gleichen Kräfte nicht gleichmäfsig vertheilt sind; auch andere Umstände, wie Form und Qualität, geben jedem eine besondere Polar-Relation. Vielleicht sind es dergleichen Unterschiede, denen wir die specifischen Wirkungen verschiedener Dielektrica in Bezug auf Entladung zuschreiben müssen (1394. 1508). So zeigen Sauerstoff- und Stickgas sonderbare Contraste, wenn Funken- oder Büschel-Entladungen in ihnen hervorgerufen werden (siehe die Tafel in 1518); denn im Stickgas, wenn die kleine negative oder die grosse positive Kugel vertheilend gemacht worden, entsprechen die Erscheinungen denen, welche im Sauerstoff stattfinden, wenn die kleine positive oder die grosse negative vertheilend ist.

1688. In starren Körpern, wie Glas, Schellack, Schwefel u. s. w. scheinen die Theilchen nach allen Richtungen polarisirt werden zu können, denn wenn man eine solche Masse auf ihre Vertheilungsfähigkeit nach drei oder mehreren Richtungen untersucht (1690), findet man keine Unterschiede. Da nun die Theilchen in der Masse befestigt sind, und die Vertheilung durch sie ihre Richtung ändern muß mit einer Aenderung gegen die Masse, so zeigen die constanten Effecte, daß sie sich in jeder Richtung elektrisch polarisiren können. Dieß stimmt zu der schon gefassten Ansicht, daß jedes Theilchen als Ganzes ein Leiter ist (1669), und hilft, als eine experimentelle Thatsache, diese Ansicht unterstützen.

1689. Wiewohl indess die Theilchen sich unter dem Einfluß von Kräften, die vermuthlich äusserst energisch sind (1686), nach *jeder* Richtung polarisiren können, so folgt doch nicht, daß nicht jedes Theilchen sich in einer Rich-

Richtung mehr als in einer andern bis zu höherem Grade oder mit größerer Leichtigkeit polarisiren könnte, oder dafs nicht verschiedenartige Theilchen in dieser Beziehung specifische Unterschiede darbieten könnten, wie sie Unterschiede im Leitvermögen und anderen Fähigkeiten besitzen (1296. 1326. 1395). Ich suchte ängstlich nach einer Relation dieser Art, und wählte deshalb zum Experiment kristallisirte Körper, weil sie alle ihre Theilchen in symmetrischer Lage haben, und daher am besten geeignet sind, ein Resultat anzuzeigen, welches von einer Veränderung der Richtung der Kräfte mit der Richtung der Theilchen, in denen sie entwickelt werden, abhängen könnte. Besonders trieben mich die elektrischen Eigenschaften des Turmalins und Boracits zu dieser Untersuchung an, und ich hoffte auch eine Beziehung zwischen der elektrischen Polarität und der der Kristallisation oder gar zu der Cohäsion selbst (1316) zu entdecken. Allein meine Versuche haben keinen Zusammenhang der gesuchten Art nachweisen können. Da ich es indess für gleich wichtig halte, zu zeigen, dafs es eine solche Beziehung gebe oder keine, so werde ich meine Resultate kurz beschreiben.

1690. Die Form des Experiments war folgende. Eine Messingkugel von 0,73 Zoll Durchmesser, befestigt an dem Ende eines horizontalen Messingstabs, der am Ende eines Messingcylinders safs, war mittelst des letzteren vollkommen metallisch verbunden mit einer grossen Leidner Batterie (291), in der Absicht, sie durch die Verbindung mit der geladenen Batterie jedesmal eine halbe Stunde lang in einem sehr nahe gleichförmigen elektrischen Zustand zu erhalten. Diese Kugel war die vertheilende. Die vertheilte Kugel war die Tragekugel des Torsions-Elektrometer (1229. 1314); und das Dielektricum zwischen beiden war ein Würfel, so geschnitten aus einem Kristall, dafs zwei seiner Seiten parallel der optischen Axe, und die vier anderen senkrecht auf ihr waren. Ein

Stückchen Schellack war angebracht auf der vertheilenden Kugel, gegenüber der Stelle, wo sie an dem Messingstab befestigt war, um einen wirklichen Contact zwischen der Kugel und dem Kristall zu verhindern. Auch die Tragekugel war auf der dem Würfel zugewandten Seite, die zugleich, wenn die Kugel in dem Elektrometer ihre Stelle einnahm, die fernste von der abgestoßenen Kugel war, mit einer Lage Schellack bekleidet. Der Würfel war mit einer dünnen Lage von in Alkohol gelösetem Schellack überzogen, um die Ablagerung von Feuchtigkeit aus der Luft auf seine Oberfläche zu verhüten; und er lag auf einer kleinen Tafel Schellack, die von einer Schellackstange getragen ward; letztere war stark genug um den Würfel zu tragen, doch aber auch, vermöge ihrer Länge, so biegsam, um zu federn, und den Würfel gegen das Schellack der vertheilenden Kugel zu drücken (Siehe Fig. 5 Taf. IV).

1691. Auf diese Weise war es leicht, die vertheilte Kugel immer in denselben Abstand von der vertheilenden zu bringen, sie daselbst zu unisoliren und wieder zu isoliren, und dann, nach Messung der Kraft im Elektrometer (1181), Behufs einer zweiten Beobachtung, an ihren Ort, der vertheilenden Kugel gegenüber, zurückzuführen. Auch konnte man leicht durch Drehung des Gestells, welches den Würfel trug, vier seiner Seiten folgwiese gegen die vertheilende Kugel bringen und die Kraft für die Fälle beobachten, daß die Linien der Vertheilungswirkung (1304) entweder mit der Richtung der optischen Axe des Kristalls zusammenfielen oder winkelrecht auf ihr waren. Gewöhnlich wurden an den vier Seitenflächen des Würfels 20 bis 28 Beobachtungen hintereinander gemacht und aus ihnen das Mittel genommen, und dieses mit ähnlichen zu anderen Zeiten erhaltenen Mittelwerthen verglichen, alles mit jeder Sorgfalt, um genaue Resultate zu erlangen.

1692. Zunächst wurde ein Würfel von *Bergkristall*

angewandt; er hielt 0,7 Zoll in Seite. Das Mittel aus nicht weniger als 197 Beobachtungen gab, mit einem merkwürdigen und constanten Unterschied, 100 für die specifische Vertheilungs-Fähigkeit in Richtung der optischen Axe des Würfels, dagegen 93,59 und 93,31 für die in den beiden darauf winkelrechten Richtungen.

1693. Allein mit einem zweiten Würfel von Bergkristall wurden keine entsprechenden Resultate erhalten. Er hielt 0,77 Zoll in Seite. Das Mittel aus vielen Versuchen gab 100 für die specifische Vertheilungsfähigkeit in Richtung der optischen Axe, und 98,6 und 99,92 für die in den beiden anderen Richtungen.

1694. Lord Ashley, welchen ich immer zur Beförderung der Wissenschaft geneigt fand, erlieh mir zum Behufe dieser Untersuchung drei Ihre Durchlaucht der Herzoginn von Sutherland gehörige Kugeln von Bergkristall. Zwei derselben hatten so feine Risse, daß sie für diese Versuche unbrauchbar waren (1193. 1698); die dritte, die viel besser war, gab mir keine Anzeige von irgend einem Unterschied der Vertheilungskraft in verschiedenen Richtungen.

1695. Hierauf wandte ich Würfel von Kalkspath an. Einer, der 0,5 Zoll im Durchmesser hielt, gab 100 für die Axen-Richtung, und 98,66 und 95,74 für die beiden Quer-Richtungen. Der andere, 0,8 Zoll in Seite, gab 100 für die Axen-Richtung und 101,73 und 101,86 für die Quer-Richtungen.

1696. Aufser diesen Unterschieden zeigten sich andere, die anzuführen ich indess nicht für nützlich halte, da sich der Hauptpunkt nicht bestätigt fand. Denn wiewohl die Experimente mit dem ersten Würfel große Erwartungen erregten, so wurden sie doch nicht durch die mit den übrigen verallgemeinert. Ich halte die Resultate mit jenem Würfel nicht für zweifelhaft, kann sie aber nicht der Kristallisation zuschreiben. Es sind in dem Würfel schwach gefärbte Schichten parallel der optischen

Axe vorhanden, und der Farbstoff derselben mag einigen Einfluß haben; allein dann sind auch die Schichten nahe parallel einer der Quer-Richtungen, und, wenn sie überhaupt von Einfluß wären, müßten sie auch in dieser Richtung einige Wirkung zeigen, was sie indess nicht thun.

1697. Bei einigen Versuchen zeigte die eine Hälfte oder ein Theil des Würfels eine Ueberlegenheit über einen andern Theil, und dieß konnte ich nicht einer von den verschiedenen Theilen erhaltenen Ladung zuschreiben. Es fand sich indess, daß das Ueberfirnissen des Würfels hinreichend war, sie von der Annahme einer Ladung abzuhalten, ausgenommen (in wenigen Versuchen) einen geringen Grad vom negativen Zustand oder dem entgegengesetzten der vertheilenden Kugel (1564. 1566).

1698. So weit ich sehen konnte, war übrigens das Isolationsvermögen der angewandten Würfel vollkommen, oder wenigstens so vollkommen, daß es einen Vergleich mit Schellack, Glas, u. s. w. ertrug. Betreffend die Ursache der Unterschiede, so kann es deren, außer der regelmäßigen Kristallstructur, mehre geben. So können kleine, dem Auge un wahrnehmbare Risse in dem Kristall so angeordnet seyn, daß sie einen merklichen elektrischen Unterschied bewirken (1193). Auch kann die Kristallisation unregelmäßig, oder die Substanz nicht ganz rein seyn; und wenn man erwägt, welch geringe Menge einer Substanz das Leitvermögen des Wassers schon bedeutend abändert, so wird es nicht unwahrscheinlich erscheinen, daß ein wenig einer durch das Ganze oder einen Theil des Würfels zerstreuten fremdartigen Substanz, Wirkungen hervorbringt, die hinreichend sind, alle beobachteten Unregelmäßigkeiten zu erklären.

1699. Eine wichtige Frage in Betreff der elektrischen Polarität der Theilchen eines isolirenden Dielektricum ist: ob es die Moleküle oder die Bestandtheile

oder Urtheile seyen (*component or ultimate particles*), welche die Rolle von isolirten, leitenden, sich polarisirenden Portionen spielen (1669).

1700. Ich bin zu dem Schluß gelangt, daß es die Moleküle der Substanz sind, welche sich als Ganze polarisiren (1347), und daß, wie verwickelt auch die Zusammensetzung eines Körpers seyn mag, alle die Theilchen oder Atome, welche durch chemische Verwandtschaft zur Bildung Eines Molekuls dieses Körpers zusammengehalten werden, bei Hervorrufung von Vertheilungs-Phänomenen oder Polarisationen in diesem Körper als eine leitende Masse oder Portion wirken.

1701. Dieser Schluß gründet sich auf mehrere Betrachtungen. So giebt es einige Körper, wie Schwefel, Phosphor, Chlor, Jod u. s. w., deren Theilchen isoliren, und sich deshalb in hohem Grade polarisiren, wogegen andere, wie Metalle, kaum eine Anzeige von diesem Vermögen liefern (1328), indem ihre Theilchen frei von einem zum andern leiten. Dennoch bilden sie, wenn sie Verbindungen eingehen, Substanzen, die anscheinend in dieser Hinsicht keine Beziehung zu ihren Elementen haben, denn Wasser, Schwefelsäure und dergleichen aus isolirenden Elementen gebildete Verbindungen leiten vergleichend leicht, während Bleioxyd, Flintglas, borsaures Bleioxyd und andere metallische Verbindungen, die sehr bedeutende Antheile von leitenden Substanzen enthalten, außerordentlich gut isoliren. In Bleioxyd zum Beispiel nehme ich an, daß bei dem Acte der Vertheilung die Sauerstoff- und die Bleitheilchen sich nicht getrennt polarisiren, sondern die Moleküle des Bleioxyds diese Polarisation erleiden, indem alle Elemente eines Theilchens des Körpers durch die Bande der chemischen Verwandtschaft, welche nur ein anderer Ausdruck (*term*) für elektrische Kraft (918) ist, als Theile (*parts*) Eines leitenden Individuums zusammengehalten werden.

1702. Bei Körpern, welche Elektrolyte sind, ha-

ben wir noch ferneren Grund an einen solchen Zustand der Dinge zu glauben. Wenn z. B. Wasser, Chlorzinn, Jodblei u. s. w. im starren Zustand zwischen den Elektroden der Volta'schen Batterie befindlich sind, so polarisiren sich ihre Theilchen, wie es die irgend eines andern Dielektricum thun (1164); wenn aber diese Substanzen in den flüssigen Zustand versetzt sind, so halbiren sich die polarisirten Theilchen; die beiden Hälften, deren jede im Zustand hoher Ladung ist, wandern auswärts, bis sie andere Theilchen im entgegengesetzten und gleichfalls geladenen Zustand antreffen, mit denen sie sich unter Neutralisation ihrer chemischen, d. i. elektrischen, Kräfte verbinden, und wiederum zusammengesetzte Theilchen bilden, die sich abermals als Ganze polarisiren und abermals zur Wiederholung derselben Reihe von Wirkungen (1347) halbiren können.

1703. Wiewohl aber elektrolytische Theilchen sich als Ganze polarisiren, so ist doch einleuchtend, daß es nicht ganz gleichgültig ist, *wie* sich die Theilchen polarisiren (1689); denn, wenn sie frei beweglich sind (380 etc.), werden die Polaritäten zuletzt in Bezug auf die Elemente vertheilt (*distributed*), und Kraft-Summen, die den Polaritäten aequivalent und in dem Betrag sehr bestimmt sind, trennen sich gleichsam von einander, und wandern auswärts mit den elementaren Theilchen. Und wiewohl ich nicht behaupte zu wissen, was ein Atom sey, oder wie es mit elektrischer Kraft vergesellschaftet oder begabt sey, oder wie diese Kraft in Fällen von Verbindung und Zersetzung angeordnet sey, so hoffe ich doch, daß mein starker Glaube an die elektrische Polarität der unter Vertheilung stehenden Theilchen, und die damit verknüpfte Ansicht von den Effecten der Vertheilung, sey es der gewöhnlichen oder der elektrolytischen, mich für einige hypothetische Betrachtungen entschuldigen werde.

1704. Bei der Elektrolysirung scheint es, daß die polarisirten Theilchen (wegen der allmäligen Aenderung,

welche in die chemischen, d. h. elektrischen Kräfte ihrer Elemente (918) eingeführt (*induced*) worden ist) eher zerfallen (*divide*), als ohne Zerfällung (*division*. 1348) sich aufeinander entladen; denn wenn man ihre Zerfällung, d. h. ihre Zersetzung und Wiedermisammensetzung, dadurch verhindert, daß man ihnen den starren Zustand giebt, so isoliren sie vielleicht eine hundert Mal intensivere Elektricität, als zu ihrer Elektrolysirung nothwendig ist (419). Hienach scheint zur directen Leitung in solchen Körpern eine weit höhere Spannung erforderlich zu seyn als zu ihrer Zersetzung (419. 1164. 1344.).

1705. Die merkwürdige Hemmung der elektrolytischen Leitung durch Gestarrung (380. 1358) stimmt ganz überein mit diesen Ansichten über die Abhängigkeit dieses Processes von der Polarität, welche allen unter Vertheilung stehenden isolirenden Substanzen gemein ist, bei Elektrolyten aber von so eigenthümlichen elektro-chemischen Resultaten begleitet wird. So läßt sich erwarten, daß der erste Effect der Vertheilung in einer solchen Polarisation und Anordnung der Wassertheilchen bestehe, daß der positive oder Wasserstoff-Pol eines jeden von der positiven Elektrode ab- und der negativen Elektrode zugewandt werde, der negative oder Sauerstoff-Pol dagegen die umgekehrte Richtung erhalte, und daß, wenn der Sauerstoff und Wasserstoff eines Wassertheilchens sich getrennt, und, zu andern Wasserstoff- und Sauerstofftheilchen übergehend, sich mit diesen verbunden haben, die so gebildeten neuen Wassertheilchen nicht die zu ihrer erfolgreichen elektrolytischen Polarisation erforderliche Stellung annehmen können, bevor sie sich nicht umgedreht haben. Die Gestarrung, indem sie die Wassertheilchen festhält, und sie hindert, jene so wesentliche vorläufige Stellung einzunehmen, verhindert auch ihre Elektrolyse, und da so die Uebertragung der Kräfte in dieser Weise verhindert ist (1347. 1703), wirkt die Substanz als ein gewöhnliches isolirendes Dielektricum

(denn es ist aus früheren Versuchen (419. 1704) einleuchtend, daß die Isolations-Spannung höher ist als die elektrolytische Spannung). Die Vertheilung durch sie hin steigt zu einem höheren Grad, und der Polarzustand der Molekule als Ganze, obgleich sehr erhöht, ist doch wohl gesichert.

1706. Wenn eine Zersetzung in einem flüssigen Elektrolyte stattfindet, setze ich nicht voraus, daß alle in dem nämlichen Querschnitt (1634) befindlichen Molekule auf einmal zerfallen und ihre elektrisirten Theilchen oder Elemente fortlassen (*transfer*). Wahrscheinlich häuft sich für diesen Querschnitt die *Entladungskraft* auf ein oder ein Paar Theilchen, welche, sich zersetzend, wandernd und wieder verbindend, das Gleichgewicht der Kräfte wiederherstellen, fast wie bei einer zerreißenden Funken-Entladung (1406); denn so wie diejenigen Molekule, welche aus Theilchen entspringen, die eben übertragene Kraft besitzen (*which have just transferred power*)¹⁾, durch ihre Lage (1705) in weniger günstigen Umständen sind als andere, so muß es auch einige geben, die am günstigsten gelagert sind, und diese, zuerst nachgebend, schwächen zur Zeit die Spannung, und bewirken Entladung.

1707. In früheren Untersuchungen über die Wirkung der Elektrizität (821. etc.) wurde an mehreren genügenden Fällen gezeigt, daß die Menge der vorwärts geführten elektrischen Kraft in einem festen Verhältnisse stehe zu einer gegebenen Menge von Substanz, die sich als Anion oder Kathion in der elektrolytischen Wirkungslinie vorwärts bewegt; und es war starker Grund zu glauben, daß jedes Stofftheilchen (*then dealt with*) verknüpft ist mit einem festen Betrage von elektrischer Kraft, welcher die Stärke seiner chemischen Verwandtschaft ausmacht, indem die chemischen Aequivalente und die elek-

1) Soll wohl heißen: die eben gebildeten Molekule, — die (nach 1705) noch verkehrt liegen. (P.)

tro-chemischen Aequivalente eins und dasselbe sind (836). Es fand sich auch mit wenigen, und, wie ich jetzt wohl sagen kann, keinen Ausnahmen (1341), daß nur diejenigen Verbindungen, welche Elemente im Verhältnisse wie eins zu eins (*in single proportions*) enthalten, die Charaktere und Phänomene der Elektrolyte (697) zeigen; und Oxyde, Chloride und andere Körper, welche mehr als eine Proportion des elektro-negativen Elements (auf eine Proportion des elektro-positiven (*P*)) enthalten, der Zersetzung unter dem Einfluß des elektrischen Stroms widerstehen.

1708. Wahrscheinliche Gründe für diese Bedingungen und Beschränkungen entspringen aus der Molekulartheorie der Vertheilung. Wenn z. B. ein flüssiges Dielektricum, wie Zinnchlorür, aus Molekulan besteht, deren jedes aus Einem Partikel von jedem Element zusammengesetzt ist, so kann, da diese durch ihre Trennung aequivalente entgegengesetzte Kräfte in entgegengesetzten Richtungen fortzuführen vermögen, sowohl Zersetzung als Uebertragung erfolgen. Wenn aber die Molekule, wie im Zinnchlorid, aus einem Theilchen oder Atom des einen Elements und aus zwei des anderen bestehen, dann ist die Einfachheit, mit welcher die Theilchen vorausgesetzttermassen angeordnet sind und wirken, zerstört. Und wiewohl sich denken läßt, daß, wenn die Molekule des Zinnchlorids vermöge der Vertheilung durch sie hin als Ganze polarisirt sind, die positive Polarkraft auf das eine Theilchen Zinn, und die negative Kraft auf die beiden Theilchen Chlor angehäuft werde, und daß diese respective rechts und links fortwandern, um sich mit andern zwei Atomen Chlor und einem von Zinn zu verbinden, analog mit dem Vorgange bei Verbindungen aus einzelnen Theilchen, so ist dieß doch nicht ganz so einleuchtend und wahrscheinlich. Denn wenn ein Zinntheilchen sich mit zwei Chlortheilchen verbindet, so ist es schwierig zu denken, daß nicht in dem entstandenen Molekule etwas

einer festen Lage Analoges in der Relation der drei Theilchen vorhanden seyn sollte, das Eine Metalltheilchen vielleicht symmetrisch gegen die beiden Chlortheilchen liegen sollte; und es ist nicht schwierig einzusehen, daß solche Theilchen nicht die zugleich von ihrer Polarität und der Verwandtschaft ihrer Elemente abhängende Lage annehmen können, welche der erste Schritt in dem Proceß der Elektrolysirung zu seyn scheint (1345. 1705).

§. 21. Beziehung zwischen elektrischen und magnetischen Kräften.

1709. Ich habe bereits einige Speculationen gemacht in Betreff der Beziehung des Magnetismus, der Querkraft des Stroms, zu der divergirenden oder transversalen Kraft der der statischen Elektricität angehörenden Linien der Vertheilungswirkung (1658. etc.).

1710. Bei fernerm Nachdenken über diesen Gegenstand erschien es mir von der äußersten Wichtigkeit, wo möglich zu ermitteln, ob die Seitenwirkung, welche wir Magnetismus oder zuweilen Vertheilung elektrischer Ströme nennen (26. 1048. etc.) durch *Vermittlung intermediärer Theilchen* in die Ferne wirke, analog wie bei der Vertheilung der statischen Elektricität, oder den mannigfaltigen von dieser Vertheilung abhängigen Erscheinungen, wie Leitung, Entladung u. s. w.; oder ob ihre Wirkung in die Ferne ganz unabhängig sey von solchen intermediären Theilchen (1662).

1711. Ich befestigte zwei Drahtgewinde mit Eisenkernen darin, End gegen End gerichtet, doch mit einem Zwischenraum von sieben Viertelzoll, in den das Ende oder der Pol eines Magnetstabs gebracht wurde. Bei Bewegung dieses Magnetspols von dem einen Kern zum andern, mußte offenbar in beiden Drahtgewinden ein Strom entstehen, in dem einen wegen Schwächung, und in dem andern wegen Verstärkung der in den respectiven Kernen von weichem Eisen erregten (*induced*) Ma-

gnetismus. Die Drahtgewinde waren mit einander und mit einem Galvanometer verbunden, so, daß diese beiden Ströme gleiche Richtungen hatten und durch vereinte Kraft die Nadel des Instruments ablenken mußten. Die ganze Vorrichtung war so wirksam und empfindlich, daß es hinreichte, den Magnetpol zwei bis drei Mal in den zum Schwingen der Galvanometernadel erforderlichen Zeiten um einen Achtelzoll hin und her zu führen, um diese Nadel in beträchtliche Schwingungen zu versetzen, und damit die Folgen der verstärkten Einwirkung des Magnetes auf den einen Kern und Schraubendraht, und des verminderten auf den andern leicht nachzuweisen.

1712. Nun wurden, ohne die Abstände des Magnets von den Eisenkernen *A* und *B* zu ändern, Platten verschiedener Natur dazwischen gebracht. So z. B. war zwischen dem Magnetpol und dem Kern *A* eine Schellacktafel eingeschoben, während die Nadel einen Hingang machte, blieb dann herausgezogen, während diese zurückkehrte, wurde nun ein gleiche Zeit wieder dazwischen gehalten, abermals auf eben so lange entfernt, und so fort acht bis neun Mal; allein es war nicht die geringste Einwirkung auf die Nadel bemerkbar. In andern Fällen wurde die Platte abwechselnd während einer Periode zwischen dem Magnetpol und *A*, und während der folgenden zwischen diesem Pol und *B* gehalten, und so fort; allein ebenfalls ohne Wirkung auf die Nadel.

1713. Zu diesen Versuchen wurden angewandt *Schellack* in Tafeln von 0,9 Zoll Dicke, *Schwefel* in einer Tafel von 0,9 Zoll Dicke, und *Kupfer* in einer Platte von 0,7 Zoll Dicke, alles ohne irgend einen Erfolg. Daraus schloß ich, daß Körper, die durch die Extreme von Leitungs- und Isolationsvermögen in Contrast stehen und einander so stark entgegengesetzt sind, wie Metalle, Luft und Schwefel, keine Verschiedenheit in Bezug auf die magnetischen Kräfte zeigen, wenn sie, wenigstens un-

ter den beschriebenen Umständen, in deren Vertheilungslinien gebracht werden.

1714. Mit einer Eisenplatte und selbst einem kleinen Eisenstück, wie der Kopf eines Nagels, war der Effect ein ganz anderer. Dann zeigte das Galvanometer sogleich seine Empfindlichkeit, und die ganze Vorrichtung ihre Vollkommenheit.

1715. Ich richtete die Sache so ein, daß eine Kupferplatte von 0,2 Zoll Dicke und 10 Zoll Durchmesser mit ihrem Rande zwischen dem Magnet und dem Eisenkern war, liefs sie dann für Perioden, wie sie zum Schwingen der Nadel erforderlich waren, abwechselnd rotiren und stillstehen; allein dies hatte nicht die geringste Wirkung auf das Galvanometer.

1716. In gleicher Weise wurde eine 0,6 Zoll dicke Schellackplatte angewandt, doch ebenfalls ohne Erfolg, sie mochte rotiren oder nicht.

1717. Zuweilen liefs ich die Rotationsebene die magnetische Curve rechtwinklich schneiden, zuweilen so schief wie möglich; bei einigen Versuchen änderte ich auch die Rotationsrichtung, doch alles ohne Erfolg.

1718. Ich entfernte nun die Schraubendrahte mit ihren Eisenkernen und ersetzte sie durch zwei auf Pappe gewundene *flache Spiralen*, jede von 42 Fufs beseidtem Kupferdraht, ohne Einschluss von Eisen. Sonst war die Vorrichtung wie früher und auch äusserst empfindlich, denn eine sehr geringe Bewegung des Magnets zwischen den Spiralen bewirkte eine starke Schwingung der Magnetnadel.

1719. Die Einschiebung von Schellack-, Schwefel- oder Kupferplatten zwischen den Magnet und diese Spiralen (1713), bewirkte nicht das Mindeste, die Platten mochten ruhen oder rasch rotiren (1715). So war denn hier kein Zeichen vom Einfluss intermediärer Theilchen zu erlangen (1710).

1720. Nun wurde der Magnet entfernt und durch

eine flache Spirale ersetzt, die den beiden ersten entsprach und mit ihnen parallel war. Die mittlere Spirale war so eingerichtet, daß ein Volta'scher Strom nach Belieben durch sie gesandt werden konnte. Das frühere Galvanometer wurde entfernt und durch eins mit doppeltem Drahtgewinde ersetzt, eine der Seitenspirale mit dem einen Gewinde, und die andere mit dem zweiten verknüpft, in solcher Weise, daß, wenn durch die mittlere Spirale ein Volta'scher Strom geleitet ward, er durch seine vertheilende Wirkung (26) in den Seitenspiralen Ströme erregen mußte, die in den Gewinden des Galvanometers entgegengesetzte Richtung hatten. Durch Adjustirung der Abstände konnten die inducirten Ströme einander gleich gemacht werden, so daß sie, ungeachtet ihrer häufigen Erregung, die Galvanometernadel in Ruhe lassen mußten. Die mittlere Spirale will ich *C* nennen, die beiden äußeren *A* und *B*.

1721. Zwischen die Spiralen *C* und *B*, deren Abstand ungeändert blieb, wurde eine Kupferplatte von 0,7 Zoll Dicke und 6 Zoll im Geviert eingeschoben, dann durch *C* der Strom einer Batterie von 24 Paaren vierzölliger Platten geleitet, und in Perioden unterbrochen, die eine Wirkung auf das Galvanometer hervorbringen mußten (1712), wenn in der Wirkung von *C* auf *A* oder *B* irgend ein Unterschied war. Ungeachtet sich Luft in dem einem Zwischenraume, und Kupfer in dem andern befand, war doch die Wirkung auf beide Spiralen genau gleich, wie wenn Luft beide Zwischenräume eingenommen hätte. Trotz der Leichtigkeit, mit welcher sich inducirte Ströme in der dicken Kupferplatte zu bilden vermögen, hatte also doch die mittlere Spirale *C* genau so auf die äußere gewirkt, wie wenn kein Leiter, wie Kupfer, vorhanden gewesen wäre.

1722, Jetzt ward die Kupferplatte durch eine Schwefelplatte von 0,9 Zoll Dicke ersetzt; allein das Resultat war dasselbe, keine Wirkung auf das Galvanometer.

1723. Es scheint demnach, daß, wenn ein Vol-

ta'scher Strom, in einem Draht, seine vertheilende Wirkung ausübt, um, je nachdem er anfängt oder aufhört, in einem benachbarten Draht einen entgegengesetzt oder gleich gerichteten Strom hervorzurufen, es nicht den geringsten Unterschied macht, ob der Zwischenraum von isolirenden Körpern, wie Luft, Schwefel oder Schellack, oder von leitenden Körpern, wie Kupfer und andere nicht magnetische Metalle, eingenommen ist.

1724. Einen entsprechenden Effect erhielt ich mit denselben Kräften, wenn sie in einem Magnet residiren. Eine einzelne flache Spirale (1718) wurde verbunden mit einem Galvanometer, und ein Magnetpol ihr nahe gestellt. Wenn dann die Magnetnadel zu und von der Spirale, oder diese zu und von dem Magnet bewegt wurde, entstanden Ströme, die durch das Galvanometer angezeigt wurden.

1725. Die dicke Kupferplatte (1721) wurde nun zwischen den Magnetpol und die Spirale eingeschoben; dessenungeachtet ergaben sich, als ersterer hin und her bewegt wurde, genau dieselben Effecte in Richtung und Betrag, wie wenn das Kupfer nicht vorhanden gewesen wären. Auch bei Einschubung einer Schwefelplatte konnte nicht der geringste Einfluß auf die durch Bewegung des Magneten oder der Spirale erregten Ströme bemerkt werden.

1726. Diese Resultate, nebst vielen andern, die ich zu beschreiben nicht für nützlich halte, würden zu dem Schluß führen, daß (zu urtheilen nach dem Betrag der Wirkung, die durch die Querkräfte, d. h. magnetischen Kräfte des Stroms, in die Ferne ausgeübt wurden) die zwischenliegende Substanz und folglich die zwischenliegenden Theilchen nichts mit den Erscheinungen zu thun haben; oder in andern Worten, daß, obwohl die Vertheilungskraft der statischen Elektricität, vermöge der Wirkung intermediärer Theilchen (1164. 1166), in die Ferne geführt wird, doch die transversale Vertheilungskraft der Ströme, welche auch in die Ferne wirken kann, nicht auf

solche Weise durch intermediäre Theilchen fortgepflanzt (*transmitted*) wird.

1727. Es ist jedoch sehr einleuchtend, daß dieser Schluß nicht als bewiesen angesehen werden kann. So wissen wir, daß wenn Kupfer sich zwischen dem Magnetpole und der Spirale (1715. 1719. 1725), oder zwischen den zwei Spiralen (1721) befindet, seine Theilchen afficirt werden, und daß sich, durch geeignete Vorrichtungen, deren eigenthümlicher Zustand durch Hervorbringung elektrischer oder magnetischer Effecte sehr sichtbar machen läßt. Es scheint unmöglich, diese Wirkung auf die Theilchen der zwischenliegenden Substanz für unabhängig zu halten von der, welche die vertheilende Spirale *C* oder der vertheilende Magnet auf die vertheilte Spirale *A* oder den vertheilten Eisenkern ausübt (1715. 1721); denn da der vertheilte Körper gleich stark von dem vertheilenden Körper ergriffen wird, diese zwischenliegenden und ergriffenen Theilchen mögen da seyn oder nicht (1723. 1725), so würde eine solche Voraussetzung mit sich bringen, daß die so ergriffenen Theilchen keine Rückwirkung auf die ursprünglich vertheilenden Kräfte hätten. Vernünftiger scheint es mir daher anzunehmen, daß diese ergriffenen Theilchen die Wirkung von dem vertheilenden Körper zu dem vertheilten unterhalten (*efficient in continuing the action onwards from the inductive to the inducteous body*), und gerade durch diese Mittheilung bewirken, daß an dem letzteren keine Vertheilungskraft verloren geht.

1728. Allein dann möchte ich fragen: wie verhalten sich die Theilchen isolirender Körper, wie Luft, Schwefel, Schellack, wenn sie in die Linie der magnetischen Wirkung kommen? Die Antwort hierauf ist für jetzt nur reine Mutmaßung. Ich habe lange gedacht, daß es bei solchen Körpern einen eigenthümlichen Zustand geben müsse, der dem, welcher Ströme in Metallen und anderen Leitern erregt (26. 53. 191. 201. 213)

entspreche, und da jene Körper Isolatoren sind, daß es ein Spannungszustand seyn müsse. Ich habe mich bemüht einen solchen Zustand sichtbar zu machen, indem ich nichtleitende Körper neben Magnetpolen, oder diese neben jenen, rotiren, oder kraftvolle elektrische Ströme neben oder ringsum Isolatoren in verschiedener Richtung plötzlich entstehen oder aufhören liefs, indess ohne Erfolg. Da jedoch ein solcher Zustand, wegen geringer Intensität der zu seiner Hervorrufung gebrauchten Ströme, von außerordentlich geringer Intensität seyn mußte, so möchte er dennoch wohl vorhanden seyn, und noch von einem geschickteren Experimentator entdeckt werden, wiewohl ich ihn nicht wahrnehmbar machen konnte.

1729. Ich halte es daher für möglich und selbst für wahrscheinlich, daß die magnetische Wirkung durch Vermittlung dazwischenliegender Theilchen in die Ferne fortgepflanzt werde, in einer analogen Weise, wie es mit den Vertheilungskräften der statischen Elektricität geschieht (1677); und daß, währenddess die dazwischenliegenden Theilchen mehr oder weniger einen besonderen Zustand annehmen, welchen ich (obwohl mit einer sehr unvollkommenen Idee) mehrmals durch den Ausdruck: *elektro-tonischen Zustand* bezeichnet habe (60. 242. 1114. 1661). Hoffentlich wird man dies nicht so verstehen, als hegte ich die feste (*settled*) Meinung, daß dem so sey. In der That habe ich vielmehr das Gegentheil bewiesen, nämlich: daß die magnetischen Kräfte ganz unabhängig sind von der zwischen dem vertheilenden und dem vertheilten Körper befindlichen Substanz, allein ich kann die Schwierigkeit nicht übergehen, die Körper, wie Kupfer, Silber, Blei, Kohle und selbst wässrige Lösungen (201. 213) darboten, welche, obwohl man weiß, daß sie, zwischen den aufeinander wirkenden Körpern befindlich, einen besonderen Zustand annehmen (1727), dennoch das Endresultat nicht mehr stören als die-

diejenigen, bei denen man einen solchen eigenthümlichen Zustand bis jetzt nicht entdeckt hat.

1730. Noch muß ich eine für diese ganze Untersuchung wichtige Bemerkung machen. Obwohl ich glaube, daß das von mir angewandte und beschriebene Galvanometer (1711. 1720) völlig hinreicht zu zeigen, daß der Endbetrag der Wirkung auf jedes der beiden Drahtgewinde oder jeden der beiden Eisenkerne *A* und *B* (1713. 1719) gleich ist, so mag doch ein Unterschied in der Wirkung vorhanden seyn, den dasselbe nicht anzeigt. Da Zeit als ein Element in diese Wirkungen eingeht (125) ¹⁾, so ist es sehr möglich, daß die vertheilenden Wirkungen auf die Gewinde oder Kerne *A* und *B*, obwohl sie gleichen Betrag erlangen, es mögen Luft und Kupfer, oder Luft und Schelllack als Zwischenmittel einander entgegengesetzt seyn, doch nicht in gleicher Zeit zu Stande kommen, und dieser Unterschied nur nicht sichtbar wird, weil beide Effecte in einer gegen die Schwingungsdauer der Nadel zu kurzer Zeit auf ihr Maximum steigen.

1731. Könnte erwiesen werden, daß die Seiten- oder Querkraft der elektrischen Ströme, oder, was mir dasselbe zu seyn scheint, die Magnetkraft derselben, unabhängig von dazwischenliegenden angränzenden Theilchen ist, dann scheint mir zwischen der Natur dieser beiden Kräfte (1654. 1664. — der elektrischen und der magnetischen (*P.*)) ein höchst wichtiger Unterschied festgestellt zu seyn. Ich meine nicht, daß die Kräfte von einander unabhängig sind und gesondert wirksam gemacht werden könnten, vielmehr sind sie vermuthlich wesentlich verknüpft (1654); allein keineswegs folgt, daß sie von gleicher Natur sind. Bei der statischen Vertheilung, bei der Leitung und Elektrolysirung sind die an den entgegengesetzten Enden der Theilchen befindlichen Kräfte,

1) *Ann. de chim.* 1833 *T. LI*, p. 422, 428.

welche mit den Vertheilungslinien zusammenfallen und gewöhnlich *elektrische* genannt werden, polar und wirken in Fällen von anliegenden Theilchen nur in unmerkliche Entfernungen; diejenigen dagegen, welche auf der Richtung dieser Linien transversal sind und *magnetische* genannt werden, sind circumferential und wirken in die Ferne, wenn auch durch Vermittlung dazwischenliegender Theilchen, doch zur gewöhnlichen Materie mit Relationen, ganz unähnlich denen der mit ihnen verknüpften elektrischen Kräfte.

1732. Ueber die Einerleiheit oder Verschiedenheit beider Arten von Kräften zu entscheiden und deren wahre Beziehung zu einander festzusetzen, würde ungemein wichtig seyn. Die Aufgabe scheint ganz im Bereich des Experiments zu liegen, und würde dem, der sich an sie macht, eine reiche Belohnung versprechen.

1733. Ich habe schon die Hoffnung ausgesprochen, einen Effect oder Zustand aufzufinden, der das für die statische Elektricität wäre, was die magnetische Kraft für die strömende ist (1658). Hätte ich zu meiner eignen Ueberzeugung beweisen können, daß die magnetischen Kräfte durch Vermittlung dazwischen liegender Theilchen in die Ferne wirken, in analoger Weise wie die elektrischen Kräfte, so würde ich geglaubt haben, daß die Seitenspannung der Linien der Vertheilungskraft (1659) oder der so oft angedeutete elektro-tonische Zustand (1661. 1662) der erwähnte Zustand der statischen Elektricität sey.

1734. Man kann sagen, daß der Zustand *keiner Seitenwirkung* für die statische oder inductive Kraft das Aequivalent des *Magnetismus* für die strömende Kraft sey, kann es aber nur nach der Ansicht, daß magnetische und elektrische Wirkung in ihrer Natur wesentlich verschieden seyen (1664). Sind sie dieselbe Kraft, so würde der ganze Unterschied eine Folge des Unterschiedes der *Richtung* seyn, und dann der normale oder un-

entwickelte Zustand der elektrischen Kraft dem Zustand *keiner Seitenwirkung* des magnetischen Zustands der Kraft (*state of no lateral action of the magnetic state*) entsprechen; der elektrische Strom würde den gewöhnlich Magnetismus genannten Seitenwirkungen entsprechen; allein der Zustand der statischen Vertheilung, welcher zwischen dem Normalzustand und dem Strom liegt, wird noch einen entsprechenden, eigenthümliche Erscheinungen darbietenden Seitenzustand in der magnetischen Reihe erfordern; denn es läßt sich schwerlich voraussetzen, daß beide, der normal elektrische und der inductive oder polarisirt elektrische Zustand, die nämliche Seitenbeziehung haben können. Ist Magnetismus eine gesonderte und höhere Relation der entwickelten Kräfte, dann würde das Argument, das zu diesem dritten Zustand der Kraft nöthigt, vielleicht nicht so stark seyn.

1735. Ich kann diese allgemeinen Bemerkungen über die Beziehung zwischen elektrischen und magnetischen Kräften nicht schliessen, ohne noch mein Erstaunen über die mit der Kupferplatte erhaltenen Resultate (1721. 1725) auszudrücken. Die Versuche mit den flachen Spiralen stellen einen der einfachsten Fälle von Vertheilung elektrischer Ströme dar (1720), indem bekanntlich im Augenblick, da in einem Draht ein elektrischer Strom hervorgerufen oder vernichtet wird, in einem benachbarten Draht ein kurzer Strom von entgegengesetzter oder gleicher Richtung entsteht (26). Demnach erscheint es sehr ungewöhnlich, daß der Strom, welcher in der Spirale *A* inducirt wird, wenn nur Luft zwischen *A* und *C* befindlich ist (1720), eben so stark sey wie im Fall, wo die Luft durch eine große Masse von dem so vortrefflich leitenden Kupfer ersetzt ist (1721). Man hätte glauben sollen, diese Masse würde die Bildung und Entladung von fast jedweder Menge von Strömen, welche die Spirale *C* zu induciren vermochte, gestattet, und dadurch den Effect auf *A* in gewissem Grade vermindert, wenn

nicht ganz verhindert haben, statt dafs nicht die geringste Verminderung oder Aenderung in dem Effect auf *A* sichtbar war, ungeachtet nicht zu bezweifeln stand, dafs nicht im Moment eine Unendlichkeit von Strömen in der Kupferplatte gebildet wurden. Fast der einzige Weg diesen Effect mit allgemein bekannten Thatsachen zu vereinbaren, scheint mir der zu seyn, dafs man annehme, die magnetische Wirkung werde durch Vermittlung dazwischenliegender Theilchen mitgetheilt (*communicated*) (1729. 1733).

1736. Dieser sehr merkwürdige Zustand der Dinge stimmt vollkommen mit dem bei Drahtgewinden Beobachteten überein, wo fünf bis sechs Lagen von Drahtwindungen übereinander liegen, ohne dafs die Wirkung auf die äufseren Lagen durch die auf die inneren geschwächt wird.

§. 22. Notiz über Elektricitäts-Erregung.

1737. Dafs die verschiedenen Arten der Elektricität-Erregung dereinst unter ein gemeinschaftliches Gesetz werden gebracht werden, ist wohl kaum zu bezweifeln, obwohl wir für jetzt genöthigt sind Unterscheidungen zu machen. Es wird schon viel gewonnen seyn, wenn diese Unterscheidungen, wenn auch nicht gehoben, doch verstanden werden.

1738. Die auffallende Beziehung zwischen elektrischen und chemischen Kräften macht die chemische Erregungsweise zu der lehrreichsten von allen, und der Fall von zwei isolirten, sich verbindenden Theilchen ist wahrscheinlich der einfachste, den wir besitzen. Hier ist jedoch die Wirkung örtlich, und es mangelt uns noch ein Prüfmittel auf Elektricität, was auf ihr anwendbar wäre, auf Fälle von strömender Elektricität und auf die von statischer Induction. Wenn wir, vermöge des vorherigen Verbindungszustands (*previously combined condition*) einiger der wirkenden Theilchen (923) im Stande sind, wie in der Volta'schen Säule, die örtliche Wirkung in einen

Strom auszubreiten oder zu verwandeln, dann kann die chemische Wirkung durch ihre Variationen hin verfolgt werden, bis zur Erzeugung *aller* Erscheinungen der Spannung und des statischen Zustands, welche in jeder Hinsicht dieselben sind, wie wenn die elektrischen Kräfte, welche sie erzeugten, durch Reibung entwickelt worden wären.

1739. Berzelius war, glaube ich, der erste, der von der Fähigkeit gewisser Theilchen, in Gegenwart anderer entgegengesetzte Zustände anzunehmen, gesprochen hat (959). Hypothetisch läßt sich annehmen, daß diese Zustände an Intensität zunehmen durch vergrößerte Nähe, durch Wärme u. s. w., bis bei einem gewissen Punkt eine Verbindung erfolgt, begleitet von solcher Anordnung der Kräfte der beiden Theilchen zwischen denselben als einer Entladung *aequivalent* ist, wobei zugleich ein Theilchen gebildet wird, welches als Ganzes ein Leiter ist (1700).

1740. Diese Fähigkeit, einen erregten elektrischen Zustand (der wahrscheinlich in denen, die nicht leitende Substanz bilden, polar ist), anzunehmen, scheint eine primäre Thatsache zu seyn, und zur Natur der Vertheilung zu gehören (1162), denn die Theilchen scheinen nicht im Stande zu seyn, diesen besonderen Zustand unabhängig von einander (1177), oder von Materie, im entgegengesetzten Zustand zu bewahren. Was bei den Theilchen der Materie bestimmt (*definite*) zu seyn scheint, ist: daß sie in Bezug auf einander einen *besonderen* Zustand, den positiven oder negativen, aber nicht unterschiedslos den einen oder andern, annehmen, und auch Kraft bis zu einem gewissen Betrage erlangen.

1741. Es ist leicht begreiflich, daß dieselbe Kraft, welche örtliche Wirkung zwischen zwei freien Theilchen verursacht, auch einen Strom erzeugen werde, sobald eins der Theilchen zuvor in Verbindung war, Bestandtheil eines Elektrolyten ausmachte (923. 1736). Ein Zink- und

ein Sauerstofftheilchen z. B., die neben einander liegen, üben ihre Vertheilungskräfte auf einander aus (1740) und diese steigern sich zuletzt bis zum Verbindungspunkt. Wenn der Sauerstoff zuvor mit Wasserstoff verbunden ist, wird er in dieser Verbindung durch eine ähnliche Aeufserung und Anordnung von Kräften gehalten, und da die Kräfte des Sauerstoffs und Wasserstoffs während der Verbindung gegenseitig beschäftigt und verknüpft (*related*) sind, so kann, wenn die höhere Verwandtschaft zwischen den Kräften des Sauerstoffs und des Zinks ins Spiel tritt, die vertheilende Wirkung des ersteren oder des Sauerstoffs auf das Metall nicht auftreten und wachsen, ohne dafs nicht seine vertheilende Wirkung auf den mit ihm verbundenen Wasserstoff abnimmt (denn der Kraftbetrag eines Theilchens ist als bestimmt angesehen) und der letztere mufs daher seine Kraft auf den Sauerstoff des nächsten Wassertheilchens richten. So läfst sich der Effect ansehen, als in merkliche Entfernungen ausgedehnt und in den Zustand statischer Vertheilung versetzt, welcher, indem er entladen und dann durch die Wirkung anderer Theile gehoben wird, Ströme erzeugt.

1742. Bei der gewöhnlichen Volta'schen Batterie wird der Strom veranlafst durch das Bestreben des Zinks, den Sauerstoff des Wassers vom Wasserstoff aufzunehmen, und der wirksame Vorgang (*effective action*) findet statt, wo der Sauerstoff den vorhandenen Elektrolyten verläfst. Allein Schönbein hat eine Batterie aufgebaut, in welcher der wirksame Vorgang an dem andern Ende des wesentlichen Theils der Vorrichtung stattfindet, nämlich, wo Sauerstoff zu dem Elektrolyten geht. Der erste Fall kann betrachtet werden als einer, wo der Strom durch die Absonderung des Sauerstoffs vom Wasserstoff in Bewegung gesetzt wird; der zweite dagegen, wo es durch Absonderung des Wasserstoffs vom Sauerstoff geschieht. Die Richtung des elektrischen Stroms ist in beiden Fällen dieselbe, wenn sie auf die Richtung, in der

sich die elementaren Theilchen des Elektrolyten bewegen (923. 962) bezogen wird, und beide stimmen gleich überein mit der eben beschriebenen hypothetischen Ansicht von der vertheilenden Wirkung der Theilchen (1740).

1743. Bei solcher Ansicht von der Erregung des Voltaismus kann die Wirkung der Theilchen in zwei Theile zerfällt werden, in die, welche stattfindet, während die Kraft in einem Sauerstofftheilchen sich steigert gegen ein auf ihn wirkendes Zinktheilchen, und abnimmt gegen ein mit ihm verbundenes Wasserstofftheilchen (dies ist die progressive Periode der inductiven Action), und in die, welche stattfindet, wenn der Wechsel der Vereinigung stattfindet, das Sauerstofftheilchen den Wasserstoff verläßt und sich mit dem Zink verbindet. Der erste Theil scheint den Strom zu erzeugen, oder, wenn kein Strom da ist, den Spannungszustand an den Enden der Batterie hervorzurufen; während der letztere, indem er zur Zeit den Einfluß der wirksam gewesenen Theilchen beendet, andern erlaubt ins Spiel zu treten, und so den Strom unterhält.

1744. Höchst wahrscheinlich ist die Erregung durch Reibung sehr oft von gleichem Charakter. Wollaston bemühte sich, diese Erregung auf chemische Wirkung zurückzuführen ¹⁾; wenn aber unter chemischer Action die endliche Vereinigung der wirkenden Theilchen verstanden wird, so giebt es Fälle in Menge, die dieser Ansicht widersprechen. Davy erwähnt einiger solcher, und ich meinerseits finde keine Schwierigkeit darin, andere Arten von Elektricitäts-Erregung als die chemische Action anzunehmen, besonders wenn unter dieser die endliche Verbindung der Theilchen gemeint ist.

1745. Davy wies experimentell die entgegengesetzten Zustände nach, welche zwei Theilchen von entgegengesetztem chemischen Charakter annehmen können, wenn man sie dicht aneinander bringt, ohne eine Verbindung

1) *Philosoph. Transact.* 1801 p. 427.

derselben zu gestatten ¹⁾). Dieß glaube ich, ist der erste Theil der schon beschriebenen Wirkung (1743); allein, meiner Meinung nach, kann dadurch kein anhaltender Strom entstehen, so lange keine Verbindung stattfindet, und es damit anderen Theilchen erlaubt ist, folgwiese in derselben Art zu wirken, und selbst dann nicht, wenn nicht die eine Reihe der Theilchen als Element eines Elektrolyten vorhanden ist (923. 963); d. h. bloßer ruhiger Contact, ohne chemische Action, erzeugt in solchen Fällen keinen Strom.

1746. Dennoch scheint es möglich, daß eine solche Relation eine hohe Ladung bewirken und damit zur Electricitäts - Erregung durch Reibung Anlaß geben könne. Wenn zwei Körper aneinander gerieben werden, um auf gewöhnliche Weise Electricität zu erzeugen, so muß der eine wenigstens ein Isolator seyn. Während des Reibens müssen die Theilchen entgegengesetzter Art mehr oder weniger dicht zusammengebracht werden, und die wenigen, welche unter den günstigsten Umständen sind, in solchem innigen Contact seyn, daß sie nur wenig von demjenigen entfernt sind, der die Folge chemischer Verbindung ist. In solchen Momenten mögen sie durch ihre gegenseitige Vertheilung (1740) und theilweise Entladung auf einander sehr erhöhte entgegengesetzte Zustände erlangen, und, wenn sie, im Fortgang des Reibens, einen Augenblick hernach, aus ihrer gegenseitigen Nachbarschaft gerissen werden, werden sie, wenn sie beide Isolatoren sind, diesen Zustand behalten, und ihn nach ihrer vollständigen Trennung zeigen.

1747. Alle Umstände bei der Reibung scheinen mir für eine solche Ansicht zu sprechen. Die Unregelmäßigkeiten der Gestalt und des Drucks werden veranlassen, daß die Theilchen der beiden reibenden Flächen sehr verschiedene Abstände von einander haben, und nur einige wenige werden auf einmal in jener innigen Relation

1) *Phil. Transact.* 1807 p. 34.

seyn, die wahrscheinlich zur Entwicklung der Kräfte nöthig ist; ferner werden diejenigen, welche zu einer Zeit am nächsten sind, zu einer andern am fernsten seyn, andere werden die nächsten werden, und so werden bei fortdauernder Reibung viele nach einander erregt werden. Endlich scheint mir die seitliche Richtung der Trennung beim Reiben am geeignetsten um viele Paare von Theilchen, erstens sämmtlich in die innige Nähe zu bringen, welche zur Annahme entgegengesetzter Zustände durch wechselseitige Einwirkung nothwendig ist, und darauf aus ihrem gegenseitigen Einfluß zu entfernen, während sie jenen Zustand behalten.

1748. Es würde leicht seyn, nach derselben Ansicht zu erklären, wie, wenn einer der reibenden Körper ein Leiter ist, z. B. das Amalgam einer Elektrisirmaschine, der Zustand des andern (als Masse) beim Austritt aus der Reibung erhöht wird; allein es würde thöricht seyn, in solche Speculation weit einzugehen, bevor das schon Ausgesprochene durch passende experimentelle Beweise unterstützt oder berichtigt worden ist. Ich wünsche nicht, daß man meine, ich halte alle Elektricitäts-Erregung durch Reibung für dieser Art; im Gegentheil lassen gewisse Versuche mich glauben, daß in vielen Fällen, und vielleicht in allen, Effecte thermo-elektrischer Natur zu dem Endresultat (*ultimate end*) führen; und sehr wahrscheinlich sind zu gleicher Zeit noch andere, bis jetzt nicht unterschiedene Ursachen der Elektricitäts-Störung wirksam.
